

中文阅读中副中央凹语义信息的提取： 来自 ERPs 的证据*

张文嘉 李楠 关少伟 王穗苹

(华南师范大学心理应用研究中心/心理学院, 广州 510631)

摘要 书面语言阅读过程中, 关于读者能否提取预视词汇的语义信息, 以往的研究仍有争议。鉴于边界技术在研究该问题时具有无法严格控制预视词呈现时间等一些局限性, 近年来有研究者利用 ERPs 技术结合伴随 RSVP 范式对拼音语言中的语义预视效应进行研究。本研究首次将这一方法应用到中文句子阅读中, 并对实验材料进行了更严格的控制, 保证关键屏(目标名词位于右侧副中央凹处)内容在实验条件间完全相同, 避免以往类似研究中关键词自身属性信息对实验结果产生干扰。ERPs 数据分析发现, 在关键屏呈现后, 语义违背相比合理条件诱发了更大的 N400 成分, 而关键后屏(目标名词位于中央凹处)呈现后, 两种条件间的 N400 成分无显著差异。该结果支持中文句子阅读中预视词汇语义信息可以得到提取, 并参与随后的语义整合过程。

关键词 副中央凹; 语义提取; 预视效应

分类号 B842

1 前言

书面语言阅读过程中, 读者一次注视所能获取的语言信息非常有限, 因而需要通过不断进行眼跳来保证阅读活动的顺利进行(白学军, 胡笑羽, 闫国利, 2009)。关于一次注视中, 读者能从不同视野感知区分别获取哪些语言信息, 特别是能否从副中央凹视野区提取语言信息, 即预视效应(preview benefit effects)是否真实存在, 许多研究对这一问题进行了探讨。研究结果表明读者可以从副中央凹视野区提取词汇的词形、语音等信息(Chace, Rayner, & Well, 2005; Juhasz, White, Liversedge, & Rayner, 2008; Liu, Inhoff, Ye, & Wu, 2002; Mielliet & Sparrow, 2004; Starr & Inhoff, 2004; Tsai, Lee, Tzeng, Hung, & Yen, 2004), 即可以发生低水平语言信息的预视效应, 但关于读者能否提取副中央凹预视词汇的语义信息, 即语义层面的预视效应是否

真实存在, 以往研究并未得出统一结论(Altarriba, Kambe, Pollatsek, & Rayner, 2001; Rayner, Balota, & Pollatsek, 1986; Tsai, Kliegl, & Yan, 2012; Yan, Richter, Shu, & Kliegl, 2009)。

对语义预视效应进行研究有助于我们区分两类眼动控制加工模型: 序列注意转移模型和梯度注意指引模型。其中序列注意转移模型, 如 E-Z 读者模型(Rayner, 2009; Reichle, Pollatsek, & Rayner, 2006; Reichle, Warren, & McConnell, 2009)认为文本阅读过程中词汇语义信息的通达随着注意资源的转移, 以序列的方式进行, 词 n+1 的语义提取发生在词 n 语义通达完成之后。同时, 该模型认为文本阅读过程中词汇的加工可分为两个阶段: 反映熟悉性检测的 L1 阶段和提取语义信息的 L2 阶段, 其中 L1 阶段完成后被试开始计划眼跳, L2 阶段完成后注意资源开始转移到下一个词汇。因为眼跳从开始计划到完成大约需要 150 ms, 而 L2 阶段大约只

收稿日期: 2013-11-18

* 广东省高等学校珠江学者岗位计划资助项目(2012), 教育部人文社科重点研究基地重大项目(10JJDXXL005), 华南师范大学心理学院研究生科研创新基金资助项目。

通讯作者: 王穗苹, E-mail: suiping@senu.edu.cn

需要 70 ms, 因而注意资源往往会先于眼睛注视到达下一个词, 即在词 $n+1$ 的预视阶段就开始对其进行加工, 因而有可能提取到词 $n+1$ 的语义信息, 但是该过程只能发生在词 n 语义通达完成之后。而梯度注意指引模型, 如 SWIFT (Saccade generation With Inhibition by Foveal Targets) 模型 (Engbert, Longtin, & Kliegl, 2002; Engbert, Nuthmann, Richter, & Kliegl, 2005) 则主张文本阅读过程中, 注意资源呈正态曲线分布, 在注视点附近达到最大值, 然后向两侧梯度递减, 知觉广度内词汇的语言信息可以并行得到加工, 因而, 该模型同样支持语义预视效应, 并且当前注视词 n 和预视词 $n+1$ 的语义信息可以同时得到提取。

对比两类眼动控制加工模型, 可以发现, 虽然二者在一定程度上都支持语义预视效应, 但 E-Z 读者模型主张预视词 $n+1$ 的语义通达发生在当前注视词 n 的语义通达完成后, 而梯度注意指引模型则主张预视词 $n+1$ 和当前注视词 n 的语义加工可以同步进行。虽然词汇语义通达所需时间受词频、预期性等多种因素影响, 但一般至少需要 100 ms 左右的时间 (Reichle, Tokowicz, Liu, & Perfetti, 2011), 因而两类模型的主要分歧在于预视词汇只呈现 100 ms 的情况下, 其语义信息能否得到提取。

对语义预视效应的研究, 以往主要借助眼动技术中的边界范式 (boundary paradigm) 来进行 (Rayner, 1975)。该方法首先会在句子或篇章材料中设置一隐藏边界, 位于目标位置之前, 当读者眼睛注视着边界左侧词汇时, 目标位置呈现预视词, 而当读者通过眼跳开始注视边界右侧信息时, 预视词被目标词代替。由于词汇变化一般发生在被试眼跳过程中, 在合适的屏幕刷新率下, 被试往往无法意识到这一变化。实验中通过操纵预视词, 构建预视词与当前语境不同的语义关系, 如果被试可以提取预视词汇的语义信息, 不同的语义关系会引起不同的语义整合过程和结果, 进而造成不同语义条件间目标词位置注视时间等眼动指标的差异。因而通过分析此类眼动指标, 可以考察语义预视效应是否真实存在。比如, Yang, Wang, Tong 和 Rayner (2012) 借助边界范式, 以中文句子为实验材料, 考察预视词汇语义信息的提取问题。实验中通过操纵预视词在合理语境条件下与目标词的语义相关性, 比如: “陈健拎着一箱鞋/袜/桔/潭来到我经营的小店里” 中, “袜” 为语义相关预视词, “桔” 为语义无关预视词, “潭” 为语义违背条件预视词, 当被试在眼跳前往目标词位置过

程中, 上述预视词被目标词“鞋”代替。眼动数据分析发现在目标词位置, 语义无关预视条件注视时间显著小于语义违背而大于语义相关预视条件。该研究结果支持中文阅读中, 预视词的语义信息可以得到提取, 并到达语义整合阶段。

然而, 回顾以往利用边界范式研究语义预视效应的相关文献, 可以发现其研究结论并不一致。一方面, 这可能是因为语义预视效应与字形、语音等低水平层面的预视效应相比, 本身就比较微弱。另一方面, 采用边界范式研究预视效应自身也存在一些局限性: 首先, 以往边界范式研究中不同语义条件间预视词并不相同, 虽然实验中会对预视词词频等词汇属性信息进行匹配, 但预视词本身的不同仍然可能造成目标词位置注视时间的差异, 进而影响实验结果的解释; 其次, 预视词呈现时间也是决定读者能否提取预视词汇语义信息的重要因素 (Hohenstein, Laubrock, & Kliegl, 2010; Inhoff, Eiter, & Radach, 2005), 而边界范式中预视词呈现时间由被试对预视前词的加工时间决定, 因而无法保证不同语义条件间该因素完全相同; 最后, 眼动技术中的误差眼跳现象 (Drieghe, Rayner, & Pollatsek, 2008; Yang, Wang, Xu, & Rayner, 2009) 也可能增加研究结论的不一致性。

为避免边界范式研究预视效应的种种局限性, 近期一些研究者利用 ERPs 技术并结合改进的快速系列视觉呈现范式 (rapid serial visual display, RSVP) —— 伴侧 RSVP 范式 (RSVP with flankers), 对句子阅读过程中语义预视效应进行研究 (Barber, Ben-Zvi, Bentin, & Kutas, 2010; Barber, Doñamayor, Kutas, & Münte, 2010; Barber, Meij, & Kutas, 2013)。在该范式中, 句子逐词在屏幕中央呈现, 并在每一屏中间词的左侧和右侧同时呈现一个真词或假词 (flankers), 句子呈现过程中要求被试一直注视位于屏幕中央的中间词, 以保证两侧词汇位于被试的副中央凹视野区。通过操纵关键屏 (关键词位于两侧位置) 呈现时两侧位置词汇与当前语境的语义关系, 并分析该屏呈现后能否诱发相关 ERPs 成分的差异, 进而推断预视词语义信息能否得到提取。该方法中由于实验句子以固定速率呈现, 并且呈现过程中被试只需注视同一位置, 无需眼跳。因而相比边界范式, 可以避免预视词呈现时间的差异及误差眼跳对实验结果造成干扰, 进而可以从另一个角度探讨句子阅读中预视信息的加工。

Barber 和 Ben-Zvi 等 (2010) 利用该方法分别考

察英语和希伯来语中预视词汇语义信息的加工, 实验过程中, 句子内容每屏呈现 260 ms, 中间间隔 60 ms 空屏, 除关键屏外中间词两侧副中央凹位置同时呈现假词, 并操纵关键屏两侧真词呈现的位置(左 vs. 右)及其与当前语境的语义合理性关系, 进而形成 4 种实验条件: 左侧合理(真词出现在左侧并且与当前语境关系合理)、左侧违背、右侧合理和右侧违背。ERPs 数据分析发现希伯来语(文本阅读方向为从右到左)中左侧词汇语义合理性的操纵诱发了 P2 效应的显著差异, 而英语中只有真词呈现在右侧时, 语义合理性的操纵才能诱发 P2 效应的显著差异, 该结果支持副中央凹词汇最少可以在词形水平得到加工。该研究并未发现关键屏材料可以诱发 N400 等反映预视词汇语义加工 ERPs 指标的差异, 这可能是由于预视词汇在不同语义条件间并不相同, 并且其词频等信息未得到很好匹配, 因而预视词汇本身属性信息会对 ERPs 数据产生干扰, 进而不能有效考察语义预视效应是否真实存在。

因此, 本研究借助 ERPs 技术, 以中文句子做实验材料, 并采用伴侧 RSVP 的材料呈现方式: 句子在屏幕中央逐字呈现, 每屏中间字左侧和右侧同时呈现该字在句子位置中的上一个字(n-1)和下一个字(n+1), 句子呈现过程中要求被试一直注视着中间字, 从而确保两侧字一直处于被试的副中央凹预视位置。但与以往类似研究(Barber, Ben-Zvi et al., 2010; Barber, Doñamayor et al., 2010; Barber et al., 2013)不同的是, 本研究通过操纵句子中动词与其后出现单字名词的语义关系, 形成语义合理与违背两种实验条件。因为实验材料中变换的是动词, 而关键名词在同一主题的句子中为同一个字, 因此, 关键屏呈现内容在两种条件间完全一致, 进而可以避免词汇本身属性信息对 ERPs 数据的干扰。同时, 本研究通过限定每屏材料呈现时间为 100 ms, 中间间隔 400 ms 的空屏, 一方面可以确保在如此短的呈现时间下, 被试来不及计划和完成眼跳, 进而避免被试加工完注视字再通过眼跳直接注视两侧字的可能, 另一方面, 可以确保关键屏所诱发的 N400 效应不受下一屏实验材料呈现的干扰, 更为重要的是通过考察在预视词汇只呈现 100 ms 的情况下, 其语义信息能否得到提取, 可以有效区分序列注意转移和梯度注意指引两类眼动控制加工模型。

根据已有 ERPs 文献(Kutas & Federmeier, 2010; Kutas & Hillyard, 1980; Lau, Phillips, & Poeppel,

2008), 词汇整合到当前语境过程中难度越大, 其诱发的 N400 成分越大。因此, 本研究预期如果关键屏呈现后语义违背相比合理条件诱发了更大的 N400 成分, 则支持预视词汇在仅呈现 100 ms 的情况下, 其语义信息即可得到提取并参与随后的整合, 该结果倾向于支持梯度注意指引模型; 如果关键屏呈现后 N400 成分无显著差异, 则支持在预视词汇只呈现 100 ms 的情况下, 其语义信息不能得到提取或参与随后的整合过程, 该结果倾向于支持序列注意转移模型。除关键屏诱发的 N400 效应外, 本研究同样关注关键后屏的 ERPs 数据, 即当关键名词从预视位置移到中央凹视野区时, 被试会如何对其进行加工。本研究预期如果关键后屏呈现后不同语义条件间诱发的 N400 成分无显著差异, 则支持预视词汇语义信息在副中央凹位置即可得到完全提取; 如果语义违背相比合理条件依然诱发更大的 N400 成分, 则支持关键名词的语义加工在预视位置并未结束, 当其移至中央凹位置时, 该过程仍在继续。

2 研究方法

2.1 被试

华南师范大学学生 24 名, 其中男生 8 名, 平均年龄 21.4 岁。所有被试母语均为汉语, 右利手, 无阅读障碍, 视力或矫正视力正常。实验前签订知情同意书, 实验结束后获得相应报酬。

2.2 实验材料

选取意义容易理解并反映日常生活的 84 套中文句子, 通过操纵每套句子中动词与随后 4 或 5 个字处单字名词的语义关系, 形成语义合理或违背两种实验条件。

合理句: 韩梅 ①摘掉 了 那 ②几 只 瓜* 并装进袋子。

违背句: 韩梅 ①捕获 了 那 ②几 只 瓜* 并装进袋子。

*: 关键名词, ①: 与关键名词形成语义合理或违背关系的动词, ②: 关键名词位于右侧的关键屏

为了避免两种语义条件间, 动词的笔画数和频率、关键名词(n)的语境限制性、关键名词前字(n-1)处的语境限制性和该字预期性对实验数据产生干扰, 即保证两种语义条件间, 唯一的操纵是关键名词与当前语境的语义合理性, 本研究对上述因素分

别进行了匹配或评定。

其中语义合理条件下动词平均笔画数和频率分别为 17.87 ($SD = 4.22$) 和 6.42 ($SD = 8.73$), 违背条件分别为 17.65 ($SD = 3.77$) 和 6.37 ($SD = 12.21$)。配对样本 t 检验表明, 笔画数在条件间差异不显著: $t(83) = 0.53, p > 0.5$, 频率差异同样不显著: $t(83) = 0.04, p > 0.9$ 。

对关键名词处语境限制性和关键名词预期性进行评定时, 我们先提取出每个句子从开始到其关键名词处(不包括关键名词)的部分, 比如“韩梅摘掉了那几只”, 让被试填写第一个想到的名词, 然后计算被试填入最多的那个名词的百分比, 将其作为该句语境限制性的指标; 并计算被试填入关键名词的百分比, 将其作为该关键名词预期性的指标。评定过程中, 将实验句子分成两个系列, 每个系列材料中语义合理句与违背句各占一半, 并且同一主题的句子在一个系列中只出现一次, 每名被试只评定一个系列的材料。共 44 名被试参与了此项评定, 数据统计发现语义合理与违背条件下语境限制性平均数分别为 0.47 ($SD = 0.21$) 和 0.51 ($SD = 0.22$), 二者差异不显著: $t(83) = 1.31, p > 0.1$, 合理与违背条件下关键名词预期性平均数分别为 0.27 ($SD = 0.26$) 和 0, 二者差异显著: $t(83) = 9.56, p < 0.001$ 。

采用类似方法, 本研究同样对关键前字($n-1$)处语境限制性及关键前字预期性做了评定, 不同的是, 这次我们提取了句子中从开始到关键前字处(不包括关键前字)的部分, 比如“韩梅摘掉了那几”, 让被试填写第一个想到的字。36 名被试的评定结果表明关键前字处语境限制性在合理与违背条件下分别为 0.41 ($SD = 1.17$) 和 0.41 ($SD = 1.18$), 关键前字的预期性分别为 0.27 ($SD = 0.25$) 和 0.27 ($SD = 0.26$)。统计分析结果表明, 语境限制性在两种条件间无显著差异: $t(83) = 0.16, p > 0.8$, 预期性同样无显著差异: $t(83) = 0.16, p > 0.8$ 。

此外, 为确保整句及关键名词处局部语境语义合理性操纵的有效性, 本研究对实验句子分别进行了整句和半句语义合理性等级评定。其中, 半句合理性评定中, 句子材料呈现到关键名词处(包括关键名词), 比如“韩梅摘掉了那几只瓜”。评定前, 我们采取与语境限制性评定同样的平衡方法, 形成两个系列的材料, 每名被试完成一个系列的实验材料。评定过程中, 要求被试仔细阅读句子, 并依据该句语义合理性在一个 5 等级量表上进行打分, 其中 1 代表非常不合理, 5 代表非常合理。两项评定各

有 24 名被试参与, 评定结果表明, 整句合理性评定中, 合理与违背条件平均得分分别为 4.16 ($SD = 0.37$) 和 1.66 ($SD = 0.40$), 二者差异显著: $t(83) = 40.09, p < 0.001$; 半句合理性评定中, 合理与违背条件平均得分分别为 4.18 ($SD = 0.32$) 和 1.65 ($SD = 0.34$), 二者差异同样显著: $t(83) = 48.46, p < 0.001$ 。

通过对句子主题与语义合理性进行拉丁方平衡, 形成两个版本的实验材料, 每个版本共有 84 个句子, 合理与违背条件各占一半, 并且同一主题只出现一次。正式实验中, 每名被试先进行 10 个句子的练习, 然后完成一个版本的实验材料, 每个版本分为 4 个 block, 每个 block 内句子随机呈现。

2.3 实验流程

如图 1 所示, 每个句子最先呈现 300 ms 的注视点, 接着 300 ms 的空屏, 然后句子在屏幕中央逐字开始呈现(13~18 屏), 其中, 中间字左侧同时呈现该字在句子位置中的上一个字, 右侧同时呈现下一个字, 两侧字与中间字均间隔 2° 视角, 从而保证它们处于被试的副中央凹视野区。每屏材料呈现 100 ms, 中间间隔 400 ms 的空屏。句子呈现过程中, 要求被试一直注视上下两个箭头指向的中间字, 并尽量避免眼跳和眨眼。句子呈现完后, 被试依据其语义是否合理做出相应按键, 按键在被试间进行了平衡。句子之间及 block 之间被试均可稍作休息, 休息后按“空格键”继续实验。每名被试实验时间大概为 40 min。

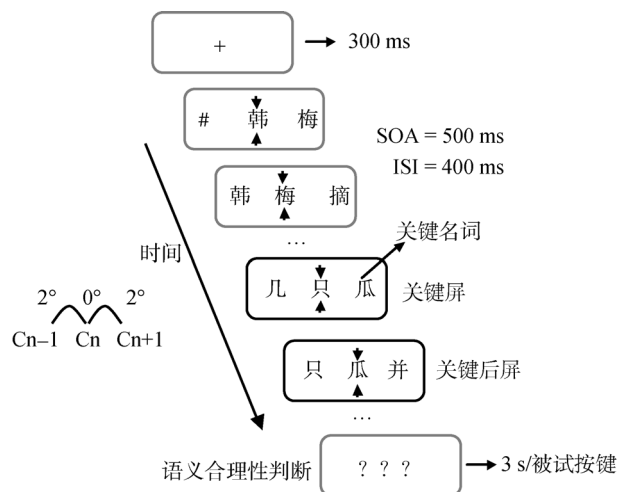


图 1 实验流程图

2.4 脑电数据记录与分析

实验仪器为 BrainProducts 公司的 ERPs 记录与分析系统, 采样率为 500 Hz, 实验记录符合 10-20

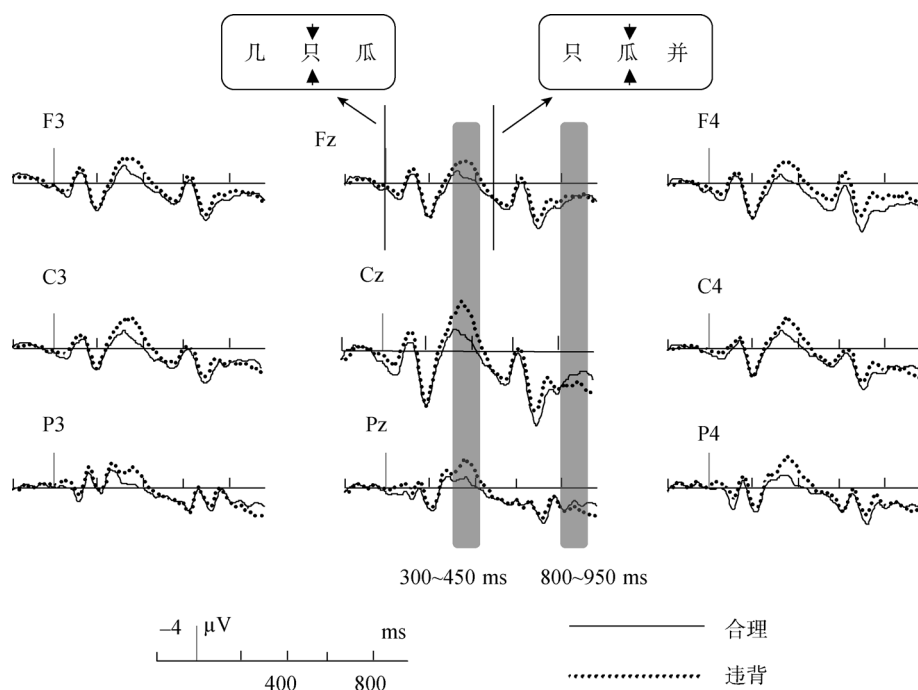


图3 九个代表性电极的总平均波形图(两条竖线分别代表关键屏和关键后屏开始呈现的时间点)及 ANOVA 时的时窗(灰色柱状图)

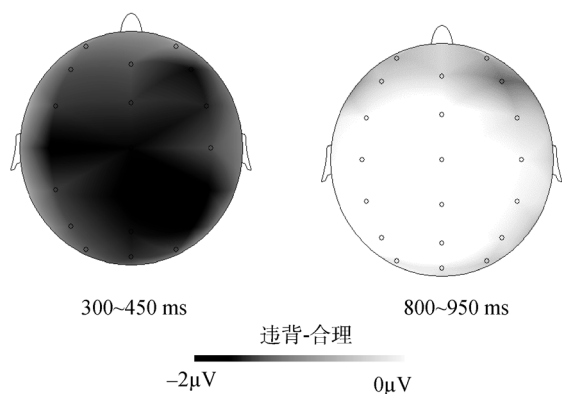


图4 关键屏呈现后 300~450 ms 及 800~950 ms 差异波(语义违背-语义合理)的地形图

= 0.42), 方差分析结果发现语义条件主效应、语义条件与电极交互效应均不显著: $F_s < 1$ 。两侧位置 6 个分区的平均波幅在语义合理条件下为 1.43 ($SE = 0.33$), 语义违背条件下为 1.18 ($SE = 0.30$), 方差分析发现语义条件主效应、语义条件与脑区的交互效应以及所有三个因素的交互效应均不显著: $F_s < 2.50$, $p_s > 0.1$, 只有语义条件与半球的交互效应显著: $F(1, 23) = 4.92$, $p < 0.05$, 简单效应分析发现在右半球区两种语义条件差异边缘显著: $F(1, 23) = 3.05$, $p < 0.1$, 其中语义合理条件下平均波幅为 1.76 ($SE = 0.39$) 语义违背条件下为 1.23 ($SE = 0.29$), 语

义违背相比合理条件诱发了更大的 N400 成分。该结果表明关键后屏材料未能诱发 N400 成分的显著差异。

4 讨论

本研究利用伴侧 RSVP 范式考察 100 ms 的呈现时间下预视词语义信息能否得到提取, 即语义预视效应能否发生在对当前词汇注视的 100 ms 以内。ERPs 数据分析发现关键屏呈现后语义违背相比合理条件诱发了更大的 N400 成分, 而关键后屏呈现后两种语义条件诱发的 N400 成分无显著差异。该结果表明中文句子阅读中在被试对当前词汇注视的 100 ms 以内, 预视词语义信息即可得到提取并参与随后的语义整合过程, 并且该过程在之前预视词再次呈现在中央凹视野区时已基本完成。该结果倾向于支持梯度注意指引模型, 即文本阅读中预视词与注视词的语义信息可以并行得到加工。此外, 结合之前相关研究(Barber, Ben-Zvi et al., 2010; Barber, Doñamayor et al., 2010; Barber et al., 2013), 本研究也支持伴侧 RSVP 范式用来研究预视信息的加工是可行的。

以往关于语义预视效应的研究无论是眼动技术中的边界范式, 还是 ERPs 技术中的伴侧 RSVP 范式, 预视词在不同语义条件间大多并不相同。而

本研究通过变换关键名词前 4 或 5 个字位置的双字动词形成两种语义条件, 保证关键名词在不同语义条件间完全一致, 进而确保关键屏语言材料在实验条件间完全相同, 预视词与当前语境的语义合理性关系为唯一可能诱发 N400 效应的操纵。因此, 本研究关键屏材料所诱发的 N400 效应只能由预视词语义信息的提取与整合来解释。总之, 本研究在对预视词汇无关变量进行更精细控制的情况下, 发现语义违背相比合理条件会诱发更大的 N400 成分。该结果支持中文句子阅读中, 语义预视效应确实存在, 并且该效应可以发生在预视词汇只呈现 100 ms 的情况下。

眼动控制加工模型中, SWIFT 模型主张知觉广度内注意资源呈梯度分布, 预视词与当前注视词可以并行得到加工, 语义信息可以同步得到提取并参与整合, 因而即使预视词汇仅仅呈现 100 ms, 被试依然可以提取其语义信息, 并应用到随后的语义整合过程中, 因而该模型预期关键屏呈现后, 语义违背相比合理条件会诱发更大的 N400 效应。与之不同, E-Z 读者模型则主张文本阅读过程中, 词汇语义信息的提取会随注意资源的转移以串行方式进行。当前眼睛所注视词汇语义通达, 即 L1 和 L2 加工阶段完成后, 注意资源才开始转移到预视词, 开始对其进行加工, 因而预视词语义信息的提取只能发生在当前注视词语义通达完成(最少 100 ms)后。而本研究中每屏材料呈现时间仅为 100 ms, 按照 E-Z 读者模型的假说, 当被试注意资源从注视词转移到预视词位置时, 预视词已经消失, 因而不可能提取到预视词的语义信息, 关键屏刺激也不会诱发 N400 成分的显著差异。显然, 本研究结果更倾向于支持 SWIFT 模型。

本研究首次借助伴侧 RSVP 范式对中文句子阅读中语义预视效应进行探讨。中文作为世界上使用人数最多的语言, 其文本物理属性及语言加工机制与拼音语言存在诸多不同。首先, 汉语中词与词之间没有明显标记, 其间隔和字与字之间的间隔一样(Bai, Yan, Liversedge, Zang, & Rayner, 2008; Li, Rayner, & Cave, 2009; Zhou, Ye, Cheung, & Chen, 2009; 李兴珊, 刘萍萍, 马国杰, 2011), 因此, 读者在阅读过程中需要根据当前词及预视词信息进行词汇切分加工, 从而提前确立眼跳的最佳位置。其次, 汉语阅读中注视点右边的知觉广度差不多是一次正向眼跳的距离, 而英文阅读中注视点右边的知觉广度几乎是其正向眼跳距离的两倍(Chen & Tang,

1998; Yang et al., 2012; Yang et al., 2009), 这似乎表明汉语阅读中一次注视就可获取知觉广度内的所有信息, 不需要对知觉广度内的预视信息进行再次加工。此外, 单个汉字识别过程也不同于英文单词, 读者可以不借助词汇的语音线索, 直接从字形通达语义信息(Chen, Flores d'Arcais, & Cheung, 1995; Liu, Jin, Qing, & Wang, 2010)。

中文不同于拼音语言的上述属性特点, 似乎倾向于支持中文阅读中预视词汇语义信息更可能得到提取。事实上, 除本研究外, 之前也有大量研究支持中文阅读中存在语义预视效应(Tsai et al., 2012; Yan, Kliegl, Shu, Pan, & Zhou, 2010; Yan et al., 2009; 王穗苹, 佟秀红, 杨锦绵, 冷英, 2009; 崔磊, 王穗苹, 闫国利, 白学军, 2010)。此外, 拼音语言中伴侧 RSVP 范式结合 ERPs 技术的研究, 相比边界范式, 也更多发现句子阅读中预视词语义信息可以得到提取(Barber, Doñamayor, et al., 2010; Barber et al., 2013), 这可能是由于伴侧 RSVP 范式相比边界范式, 句子的呈现速率一般会更慢些, 因而被试有更多认知资源用于副中央凹预视信息的加工(Barber et al., 2012; Payne & Stine-Morrow, 2012)。因此, 以后对语义预视效应的研究应侧重于不同语言系统及材料呈现范式间的比较, 基于拼音语言建立起来的眼动控制模型也应兼顾中文语言的特性(Rayner, Li, Juhasz, & Yan, 2005; Rayner, Li, & Pollatsek, 2007), 并且考虑不同呈现范式下预视信息加工可能的差异(白学军等, 2009), 进而发展出更具普适性的眼动控制理论。

Barber 和 Ben-Zvi 等(2010)研究证实不同的文本阅读方向会导致注意资源分配的不均衡, 比如, 从左往右读的英文中, 读者会将更多注意资源分配到右侧(相比左侧)预视词汇位置, 而在从右往左读的希伯来语中, 情况则刚好相反。本研究用从左往右读的中文句子做实验材料, 因而, 右侧(相比左侧)预视词会具有一定的加工优势, 但这并不是本研究中特定的范式所造成, 而是自然阅读过程中的正常现象。本研究主要考察中文句子阅读中右侧预视词汇语义信息的提取与整合, 而两侧预视位置词汇加工的差异以及随着 trial 数的增加注意资源分配的变化, 并不是本研究最关注的问题, 未来可以采用更直接的研究设计对这些问题进行探讨。此外, 借鉴先前伴侧 RSVP 范式的研究(Barber, Doñamayor, et al., 2010; Barber et al., 2013), 本研究中每屏材料的呈现时间设定为 100 ms, 短于一

般 RSVP 范式中句子材料的呈现时间(200 ms 左右),但本研究行为结果中,90%左右的正确率表明在 100 ms 的呈现时间下,被试依然可以很好地完成句子阅读过程,因而,我们倾向于认为在每屏材料仅呈现 100 ms 的情况下,被试对实验句子的加工机制与一般 RSVP 范式并无本质上的不同。

值得注意的是,本研究中句子材料以伴侧 RSVP 范式呈现,理论上来说,存在着一种可能性,即被试直接注视每屏材料中的右侧字,因此,关键屏后的 N400 效应可能是由被试直接注视关键名词引起,而不是对关键名词的预视加工。为实际确认被试在本研究句子呈现范式和速率下,能否按要求一直注视中间字,我们用完全相同的材料和程序进行了一个眼动实验,观察被试在这种研究范式下的眼动轨迹。实验仪器采用 SR Research 公司开发的 EyeLink1000 眼动仪,采样率为 1000 次/秒,实验时记录被试的右眼数据。因为只关注句子呈现过程中被试眼睛的注视位置,因而我们以每个汉字中心为原点,以汉字长度的 2 倍为边长作出 3 个矩形兴趣区,提取出句子材料呈现时每一屏被试注视点的位置信息,并计算出注视点落在每个字所属兴趣区的百分比。10 名被试眼动数据结果表明,在句子呈现过程中的所有屏,被试注视右侧字区域的比例为 0.75%,而在关键屏,被试注视右侧字区域的比例也仅为 1.01%,该结果说明被试在阅读过程中仅有极小的可能性会直接注视右侧字。

事实上,被试直接注视两侧字在当前实验中并不是一个有效的策略。首先,实验开始前,指导语明确要求被试在句子呈现过程中一直注视中间字,并避免眼跳和眨眼。其次,考虑到连续出现的中间字本身就可构成一个完整句子,足够让被试完成随后的语义合理性判断任务,被试也不清楚左右两侧的信息与注视字的关系,因此,在短短 100 ms 的时间内,被试直接按指导语要求注视中间字,会更有效地完成实验任务。相反,由于语言阅读中一次注视时间大约为 270 ms (Reichle et al., 2011),如果被试在中间字和两侧字之间来回眼跳,反而可能丢失重要的句子信息,增加阅读难度。因此,我们可以排除被试在阅读过程中直接注视两侧字的可能。

5 结论

中文句子阅读中,在被试对当前词汇注视的 100 ms 以内,预视词语义信息即可得到提取并参与随后的语义整合过程,并且该过程在预视位置就

可基本完成。本研究结果倾向于支持梯度注意指引模型,即预视词汇与当前注视词汇可以同时并行得到加工。此外,伴侧 RSVP 范式结合 ERPs 技术的方法也可有效用于预视信息加工的研究。

参 考 文 献

- Altarriba, J., Kambe, G., Pollatsek, A., & Rayner, K. (2001). Semantic codes are not used in integrating information across eye fixations in reading: Evidence from fluent Spanish-English bilinguals. *Perception & Psychophysics*, 63(5), 875-890.
- Bai, X. J., Hu, X. Y., & Yan, G. L. (2009). Parafoveal-on-foveal effects in Chinese reading: The influence of semantic transparencies of word n on word n-1 processing. *Acta Psychologica Sinica*, 41(5), 377-386.
- [白学军, 胡笑羽, 闫国利. (2009). 中文阅读的副中央凹-中央凹效应: 词 n 的语义透明度对词 n-1 加工的影响. *心理学报*, 41(5), 377-386.]
- Bai, X., Yan, G., Livensedge, S. P., Zang, C., & Rayner, K. (2008). Reading spaced and unspaced Chinese text: Evidence from eye movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 34(5), 1277-1287.
- Barber, H. A., Ben-Zvi, S., Bentin, S., & Kutas, M. (2010). Parafoveal perception during sentence reading? An ERP paradigm using rapid serial visual presentation (RSVP) with flankers. *Psychophysiology*, 48(4), 523-531.
- Barber, H. A., Doñamayor, N., Kutas, M., & Münte, T. (2010). Parafoveal N400 effect during sentence reading. *Neuroscience Letters*, 479(2), 152-156.
- Barber, H. A., Meij, M., & Kutas, M. (2013). An electrophysiological analysis of contextual and temporal constraints on parafoveal word processing. *Psychophysiology*, 50(1), 48-59.
- Chace, K. H., Rayner, K., & Well, A. D. (2005). Eye movements and phonological parafoveal preview: effects of reading skill. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue Canadienne de Psychologie Expérimentale*, 59(3), 209-217.
- Chen, H. C., Flores d'Arcais, G. B., & Cheung, S. L. (1995). Orthographic and phonological activation in recognizing Chinese characters. *Psychological Research*, 58(2), 144-153.
- Chen, H. C., & Tang, C. K. (1998). The effective visual field in reading Chinese. *Reading and Writing*, 10(3-5), 245-254.
- Cui, L., Wang, S. P., Yan, G. L., & Bai, X. J. (2010). Parafoveal-on-foveal interactions in normal Chinese reading. *Acta Psychologica Sinica*, 42(5), 547-558.
- [崔磊, 王穗苹, 闫国利, 白学军. (2010). 中文阅读中副中央凹与中央凹相互影响的眼动实验. *心理学报*, 42(5), 547-558.]
- Drieghe, D., Rayner, K., & Pollatsek, A. (2008). Mislocated fixations can account for parafoveal-on-foveal effects in eye movements during reading. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(8), 1239-1249.
- Engbert, R., Longtin, A., & Kliegl, R. (2002). A dynamical model of saccade generation in reading based on spatially distributed lexical processing. *Vision Research*, 42(5), 621-636.
- Engbert, R., Nuthmann, A., Richter, E. M., & Kliegl, R. (2005).

- SWIFT: A dynamical model of saccade generation during reading. *Psychological Review*, 112(4), 777–813.
- Greenhouse, S. W., & Geisser, S. (1959). On methods in the analysis of profile data. *Psychometrika*, 24(2), 95–112.
- Hohenstein, S., Laubrock, J., & Kliegl, R. (2010). Semantic preview benefit in eye movements during reading: A parafoveal fast-priming study. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 36(5), 1150–1170.
- Inhoff, A. W., Eiter, B. M., & Radach, R. (2005). Time course of linguistic information extraction from consecutive words during eye fixations in reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31(5), 979–995.
- Juhasz, B. J., White, S. J., Liversedge, S. P., & Rayner, K. (2008). Eye movements and the use of parafoveal word length information in reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 34(6), 1560–1579.
- Kutas, M., & Federmeier, K. D. (2010). Thirty years and counting: Finding meaning in the N400 component of the event-related brain potential (ERP). *Annual Review of Psychology*, 62, 621–647.
- Kutas, M., & Hillyard, S. A. (1980). Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, 207(4427), 203–205.
- Lau, E. F., Phillips, C., & Poeppel, D. (2008). A cortical network for semantics: (de) constructing the N400. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(12), 920–933.
- Li, X. S., Liu, P. P., & Ma, G. J. (2011). Advances in cognitive mechanisms of word segmentation during Chinese reading. *Advances in Psychological Science*, 19(4), 459–470.
- [李兴珊, 刘萍萍, 马国杰. (2011). 中文阅读中词切分的认知机理述评. *心理科学进展*, 19(4), 459–470.]
- Li, X. S., Rayner, K., & Cave, K. R. (2009). On the segmentation of Chinese words during reading. *Cognitive Psychology*, 58(4), 525–552.
- Liu, B., Jin, Z., Qing, Z., & Wang, Z. (2010). The processing of phonological, orthographical, and lexical information of Chinese characters in sentence contexts: An ERP study. *Brain Research*, 1372, 81–91.
- Liu, W., Inhoff, A. W., Ye, Y., & Wu, C. (2002). Use of parafoveally visible characters during the reading of Chinese sentences. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 28(5), 1213–1227.
- Mielliet, S., & Sparrow, L. (2004). Phonological codes are assembled before word fixation: Evidence from boundary paradigm in sentence reading. *Brain and Language*, 90(1-3), 299–310.
- Payne, B. R., & Stine-Morrow, E. A. L. (2012). Aging, parafoveal preview, and semantic integration in sentence processing: Testing the cognitive workload of wrap-up. *Psychology and Aging*, 27(3), 638–649.
- Rayner, K. (1975). The perceptual span and peripheral cues in reading. *Cognitive Psychology*, 7(1), 65–81.
- Rayner, K. (2009). Eye movements in reading: Models and data. *Journal of Eye Movement Research*, 2(5), 1–10.
- Rayner, K., Balota, D. A., & Pollatsek, A. (1986). Against parafoveal semantic preprocessing during eye fixations in reading. *Canadian Journal of Psychology/Revue Canadienne de Psychologie*, 40(4), 473–483.
- Rayner, K., Li, X., Juhasz, B. J., & Yan, G. (2005). The effect of word predictability on the eye movements of Chinese readers. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(6), 1089–1093.
- Rayner, K., Li, X., & Pollatsek, A. (2007). Extending the E-Z reader model of eye movement control to Chinese readers. *Cognitive Science*, 31(6), 1021–1033.
- Reichle, E. D., Pollatsek, A., & Rayner, K. (2006). E-Z Reader: A cognitive-control, serial-attention model of eye-movement behavior during reading. *Cognitive Systems Research*, 7(1), 4–22.
- Reichle, E. D., Tokowicz, N., Liu, Y., & Perfetti, C. A. (2011). Testing an assumption of the E-Z Reader model of eye-movement control during reading: Using event-related potentials to examine the familiarity check. *Psychophysiology*, 48(7), 993–1003.
- Reichle, E. D., Warren, T., & McConnell, K. (2009). Using E-Z Reader to model the effects of higher level language processing on eye movements during reading. *Psychonomic Bulletin & Review*, 16(1), 1–21.
- Starr, M., & Inhoff, A. (2004). Attention allocation to the right and left of a fixated word: Use of orthographic information from multiple words during reading. *European Journal of Cognitive Psychology*, 16(1-2), 203–225.
- Tsai, J. L., Kliegl, R., & Yan, M. (2012). Parafoveal semantic information extraction in traditional Chinese reading. *Acta Psychologica*, 141(1), 17–23.
- Tsai, J. L., Lee, C. Y., Tzeng, O. J. L., Hung, D. L., & Yen, N. S. (2004). Use of phonological codes for Chinese characters: Evidence from processing of parafoveal preview when reading sentences. *Brain and Language*, 91(2), 235–244.
- Wang, S. P., Tong, X. D., Yang, J. J., & Leng, Y. (2009). Semantic codes are obtained before word fixation in Chinese sentence reading: Evidence from eye-movements. *Acta Psychologica Sinica*, 41(3), 220–232.
- [王穗苹, 佟秀红, 杨锦绵, 冷英. (2009). 中文句子阅读中语义信息对眼动预视效应的影响. *心理学报*, 41(3), 220–232.]
- Yan, M., Kliegl, R., Shu, H., Pan, J., & Zhou, X. (2010). Parafoveal load of word N+ 1 modulates preprocessing effectiveness of word N+ 2 in Chinese reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 36(6), 1669–1676.
- Yan, M., Richter, E. M., Shu, H., & Kliegl, R. (2009). Readers of Chinese extract semantic information from parafoveal words. *Psychonomic Bulletin & Review*, 16(3), 561–566.
- Yang, J., Wang, S., Tong, X., & Rayner, K. (2012). Semantic and plausibility effects on preview benefit during eye fixations in Chinese reading. *Reading and Writing*, 25(5), 1031–1052.
- Yang, J., Wang, S., Xu, Y., & Rayner, K. (2009). Do Chinese readers obtain preview benefit from word n+ 2? Evidence from eye movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35(4), 1192–1204.
- Zhou, X. L., Ye, Z., Cheung, H., & Chen, H. C. (2009). Processing the Chinese language: An introduction. *Language and Cognitive Processes*, 24(7-8), 929–946.

Extraction of Semantic Information from Parafoveal Words in the Reading of Chinese: An ERPs Study

ZHANG Wenjia; LI Nan; GUAN Shaowei; WANG Suiping

(Center for Studies of Psychological Application / School of Psychology, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

Abstract

Previous studies have confirmed that readers can obtain sub-lexical information (e.g., orthographic or phonological) from the parafovea during reading. However, no consensus has been reached as to whether semantic information can also be extracted from the parafoveal word. A possible explanation for this controversy may be the limitations of the boundary paradigm in eye-tracking reading experiments, which have been the main methodology used in previous studies. For instance, the duration of parafoveal word viewing cannot be held constant across conditions in the boundary paradigm. Thus, in this study, an ERPs paradigm using rapid serial visual presentation (RSVP) with flankers was used to study extraction of semantic information from the parafoveal word in the reading of Chinese sentences.

A total of 84 sets of Chinese sentences were constructed for this study. Unlike previous studies, in each set of sentences, the two-character verbs were manipulated, yielding a congruent or incongruent context with the target single-character noun that appeared 4 or 5 characters after the verbs. Thus the critical trials (containing the target noun as the right flanker) were the same across congruent and incongruent conditions. Each sentence was presented character by character at fixation, flanked 2° bilaterally by the preceding character (n-1) on the left and the next character (n+1) on the right. Each viewing consisted of three characters presented on the screen for 100 ms with an inter-stimuli interval (ISI) of 400 ms. Twenty-four participants' ERPs were recorded individually with 40 tin electrodes (10-20 System) in a sound-attenuating, electrically shielded booth. The EEG and EOG signals were sampled at 500 Hz and filtered digitally offline with a 0.02 to 30 Hz band pass. Epochs of interest were selected time-locked to the onset of the critical trials with a 200 ms pre-onset baseline window and a 1000 ms window after onset. Mean ERPs amplitudes from 300~450 ms and 800~950 ms were computed for each participant and tested for significance using ANOVA.

A more negative N400 component was found between 300 and 450ms when the sentence context was incongruent than when it was congruent with the right flanker. Furthermore, no significant differences between the two conditions were found between 800 and 950ms, which was the time window of the N400 effect when the target noun was fixated foveally.

Since the critical trials were the same across conditions and different lexical properties in the parafovea were avoided, the only manipulation was the semantic congruence of the target noun with the prior context. Thus the significant difference in the N400 component between 300 and 450ms suggests that semantic extraction from the parafoveal word exists during the first 100 ms of current word fixation in Chinese sentence reading. These results suggest that the semantic information of a preview word may be processed in parallel with the fixated word, which supports the view of GAG models (such as SWIFT). Together with the results of previous studies, the present study also demonstrates that the flanker-RSVP ERPs paradigm may be a suitable method for the study of parafoveal processing during sentence reading.

Key words parafoveal; semantic extraction; preview benefit effects